

FOTONIKA ETA ARGIA REN NAZIOARTEKO URTEA

2015-2016 IKASTURTEKO

HASIERAKO IKASGAIA

HIZLARIA:

MANUEL LÓPEZ-AMO SAINZ IRAK. DK.

NAFARROAKO UNIBERTSITATE PUBLIKOKO

INGENIARITZA ELEKTRIKO ETA ELEKTRONIKOKO KATEDRADUNA

FOTONIKA ETA ARGIAREN NAZIOARTEKO URTEA

2015-2016 IKASTURTEKO

HASIERAKO IKASGAIA

HIZLARIA:

MANUEL LÓPEZ-AMO SAINZ IRAK. DK.

NAFARROAKO UNIBERTSITATE PUBLIKOKO
INGENIARITZA ELEKTRIKO ETA ELEKTRONIKOKO KATEDRADUNA



Iruñean, 2015eko irailaren 11n

upna
Universidad
Pública de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

Argitaratzailea: Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Koordinazioa: Komunikazio Zerbitzua
Fotokonposizioa: Pretexto. pretexto@pretexto.es
Inprimatzailea: Ulzama Gráficas
Lege gordailua: NA 1549-2015
Banaketa: Argitalpen Atala
Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Arrosadiko campusa
31006 Iruñea
Faxa: 948 169 300
Posta: publicaciones@unavarra.es

Nafarroako Foru Erkidegoko lehendakari andrea,
Errektore jaun txit garaia,
Agintari txit prestu eta txit gorenak,
Unibertsitate Komunitateko kideak,
Jaun-andreak:

Errektore jaunak 2015-2016 ikasturteko hasierako ikasgaia emateko enkargua eman zidanean, elkarren aurkako bi sentimendu nabaritu nituen nigan. Batetik, esker ona agertu nahia, nigan konfiantza jarri izanagatik, hitz hauek entzuleria finaren aurrean esateko, eta bestetik, denbora iragan izanaren sentsazioa. Jende orok baitaki kargu-antzinatasunak bere eragina duela hizlaria aukeratzerakoan.

Berehala erabaki nuen ikasgaia –espero zen bezala– nire irakaskuntza eta ikerketa arloari lotzea. Ez da, ez unea, ez tokia, nire iritziak adierazteko unibertsitateak gure herrialdean duen egoeraz, ezta urrutiagoko kontuez ere.

Kontua da, gainera, aurten ofizialki boladan dagoela nire arlo kutuna. Izan ere, 2015a *Argiaren Nazioarteko Urtea* da, NBEko Batzar Orokorrak 2013ko abenduaren 20ko bilkuran halaxe erabakita. Kointzidentzia horrek, dena den, ez du eragotziko nik ikasgaiari ezinbestean «retro» ukitua ematea.

Bitxia da argiak hainbeste denbora itxoin behar izatea bere nazioarteko urtea izateko. Izan ere, inoizko libururik salduen eta aipatuena (Biblia) gurera ekartzen

badugu, jada hirugarren lerroan honela dio: Jaungoikoak esan zuen: «Izan bedi argia», eta argia izan zen [0].

Jaungoikoaren lehentasun nabarmena argia izatea izanik, iruditzen zitzaidan gizakiok lasaiago ibili garela argiaren erabilera gauzatzeko orduan, eta denbora gehiegi iragan dela Nazio Batuek argiaren aitortza egin arte. Baina hitzaldi hau lantzen ari nintzenean, ikusi nuen 2015a ere lurzorua nazioarteko urtea dela. Eta 2016a, berriz, «kamelidoen» nazioarteko urtea dela, eta NBEren hitzetan, «Kamelidoak ugaztun ungulatu artiodaktiloak dira, belarjale hutsak...» [1]. Hortaz, hitzaldiaren izenburua berregitea pentsatu nuen, «nazioarteko urtea» terminoari hain serio ez irizita. Aldaketa eginen dut, idazki hau berrikusteko astia baldin badut.

Argia horren berandu aitortu izanaren arrazoia izan daiteke fotonika (argiari eskainitako zientzia eta teknologia) bere hastapenetan egotea [2]. Horren froga partziala da 2013ra arte ez dela fotonika aintzat hartu Europa garatzeko funtsezko 6 teknologien artean [3].

Zorionez gure planeta gero eta argituagoa dago. Ez naiz ari gaizki deritzon kutsadura luminikoaz. Gehienbat astronomia zaleek arrakastaz sortutako kontzeptua da hori, kexu baitira hirietatik urrundu behar direla beren izar eta planeta kutunak ikusteko. Terminoa non eta argiaren nazioarteko urtearen NBEren adierazpenean bertan sartzea lortu dute.

Gatozen gure harira; gero eta planeta argituagoa dugu eta, oro har, halaxe izan nahi dugu. Adibidez, zuntz optikoa (eta haren barrenetik doan argia) gure etxeetara iritsi da, bertan garatzeko. Duela gutxi arte, pentsaezina zen etxe arrunt eta normal batetik konektatu ahal izatea 100 Mb/s-tik gorako transmisio-abiaduretan.

Eta, dena dela, gizarteak banda zabala eskatu izanari esker, ekonomikoki bideragarria da zuntz optikoetatik doan argiak gu planetaren gainerakoarekin konektatzea.

Banda zabalaren eskaria. Berrikitan sortutako kontzeptua da, baina iduri du normaltzat onartzen dela. Zertarako banda zabal hori? Mundu guztiak berehala erantzun liezadake: telebista-kate asko eta asko kalitate onarekin ikusteko, bideojoko elkarreragileetarako, Zeelanda Berriko webgune bat ikusi ahal izateko eta azkar deskargatzeko... Zeelanda Berriko zerbitzari batean ostataturiko webgune bat? Duela pare bat hamarkada hori pentsaezina izanen zen. Ez baitzegoen webgunerik. Baina egun normaltzat jotzen dugu, eta horrez gain, urduri jartzen gara bi segundo baino gehiago kostatzen baldin bazaio ordenagailuaren pantailan ateratzea.

Badirudi gizakia teknologia hori erabiltzeko prestatua egoteaz gain, huraxe ere behar zuela. Informazio transmititzea, informazioa trukitzea, gizakiari berez datxekion beharra da. Izan ere, soziologo batzuek aro «infolitiko» esaten diote egungo aroari,

hau da, informazio-gizartearen harri-aroa [4]. Ez alferrik, hori guztia duela oso gutxi hasi baitzen. Gaur egun, izan ere, informazioaren teknologien eta telekomunikazioen (IKT) arloko industriak Espainiako barne produktu gordinaren % 5etik gora egiten du (nekazaritzak eta arrantzak batera egiten dutena baino askoz ere gehiago). Herrialderik aurreratuenetan, zenbakia BPGaren % 10era hurbiltzen da [5]. Sektore hori % 4 inguru hazten zen urteko, krisia etorri aurretik. Sektore gutxi hazten dira erritmo horretan.

Nabarmenak dira, halaber, telekomunikazioek gizartean dituzten inplikazioak, eta nabarmenak ere, gizartean eragindako aldaketak. Ez bakarrik eguneroko bidaiak murriztu izana, telelanari esker edo telemedikuntzari esker. Era berean, hortxe dauke politikan eta sare sozial deritzonetan dituzten eraginak. Eta ugaritasuna kontzeptuaren aldaketa, gauza guztien prezioa definitzeko. Ekonomia tradizionalan, eskuragarria ez den ondasun urri batek prezio altuagoa du ondasun ugariak baino. Informazioaren gizartean, arauak oso bestelakoak dira. Are gehiago, nekez dago dirua bera fisikoki, mundu birtualean baizik. Dirua esaten diogunaren zatirik handiena zenbaki huts bat da banku bateko ordenagailu batean, eta dendetara transmititzen da, gure txartelarekin ezer erosten dugunean, edota gas nahiz ur konpainietara. Gero eta gutxiagotan transmititzen da zenbaki hori kutzazain automatikoetara billete bihurtzeko.

Baina ildotik kanpo ari naiz. Hitzaldi honen helburuak teknologia fotonikoaren ikasgai idorra baizik ez baitu izan behar.

1. Hasieran, argia izan zen

Telekomunikazioetarako, behintzat. Telekomunikazio-saretzat jotzen diren lehen sareak sare optikoak ziren [6]. Sareon egitura dorreetan zeutzan, hau da, dorreak 10 eta 20 kilometro artean zeuden bereizita bata bestearengandik, eta dorreen goialdean atal mugikorrek zeuden, hurrengo dorrera kodeak transmititu ahal izateko [7]. Espainiako bertsioa bi listoi-ilaratan zetzan, eta bi ilaren artean, indikadore zeritzon beste listoi mugikor bat kokatzen zen, hamabi zeinu ezberdin osatzeko; zeinuek kode-liburu batean zuten beren itzulpena. 1836an, bi lineak gurutzatzen zuten Nafarroa, Iruñea eta Gasteiz Logroñorekin lotzeko [8]. Oraindik ere dorreren batek zutik dirau; Tafalla eta Larraga artean dagoen Beratzakoak, adibidez. Tramankulu horien transmisio-abiadura hauxe zen: sinbolo bat, 20 segundo bakoitzeko, gutxi gorabehera (hau da, bi bit segundo bakoitzeko izan liteke). 1857ra bitarte, Espainiako telegrafia optikoaren sarea garatu zen, Madril Iparraldearekin, Hegoaldearekin eta Mediterraneoarekin konektatzeko, Frantziako mugaraino. Horrela, Madrildik Cadizera bidaltzen zen mezua, dorre optikoen linearen bitartez, bi orduko denbora errekorrean irits



Beratzako dorrea (Nafarroa) [9].



Telegrafo optikorako dorrea, Adaneron berreraikia.



Espainiako telegrafia optikoaren sarea [10].

zitekeen; aldiz, zaldizko batek (hots, Internet primitibo horrekiko zegoen alternatiba bakarra) bi egun behar zituen mezu idatzi bat distantzia berean eramateko... bidean gorabeherarik gertatzen ez bazitzaion, jakina. Sareak segundo bakoitzeko bi bit-en baliokidea bakarrik transmititzen zuen. Erabiltzen zen teknologian tresna optiko landugabe batzuk erabiltzen ziren, distantzia handian ikusteko.

Telegrafoek «gako-liburu» bat erabiltzen zuten, komunikaziorako. Horrela, «zenbakiak» sekuentzian igortzen zituzten, eta zenbaki horiek aldi berean adierazten zuten zer orrialdetan eta zer lineatan zeuden mezu bat osatzen zuten hitzak.

1838aren hasieran, Samuel Morsek telegrafo elektrikoaren erakustaldi bat egin zuen; hura komunikazio-sistema hobe zen, askoz ere ahaltsuagoa, eta orain sarkastikoki «Internet victoriarra» esaten zaiona sorraraziko zuen. Asmakizun horrek bigarren planora eraman zituen telegrafo optikoen lineak, harik eta arian-arian desagertu ziren arte.

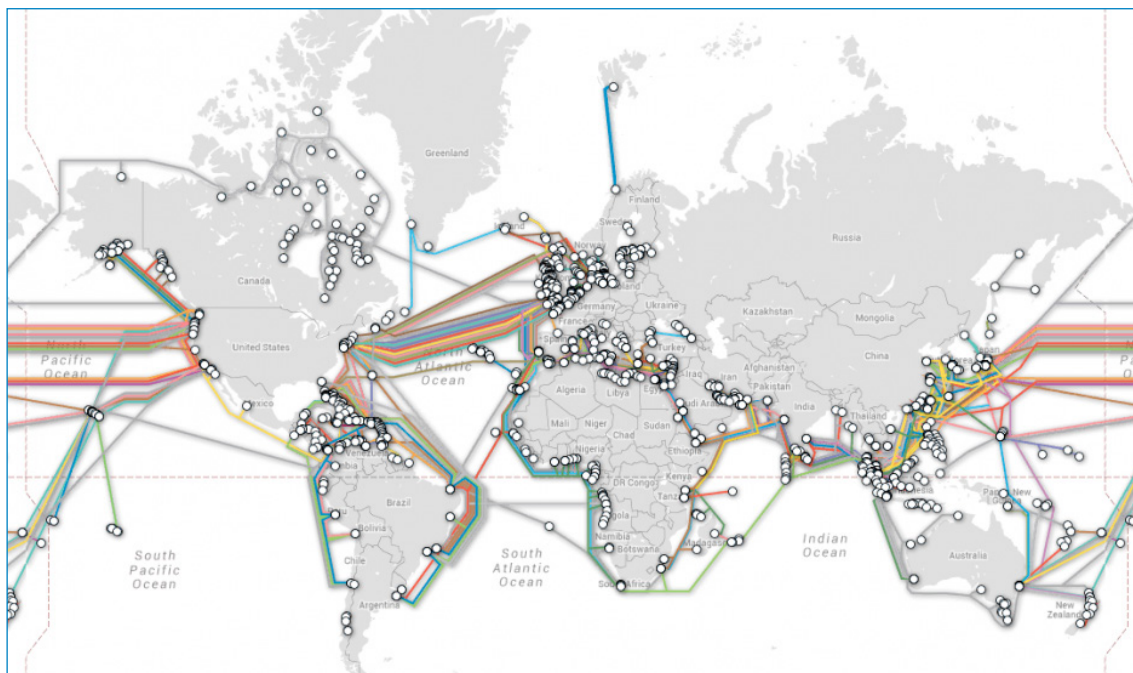
Eta iluntasuna egin zen, eta elektroiek telekomunikazioetan fotoiak baztertu egin zituzten.

2. Argiaren itzulera

Zuntz optikoan barna bidaiatzen dutenean fotoiek hartzen baldin badute argiak hutsen duen ia hainbateko abiadura ($2/3$), seinale elektrikoek ere antzeko abiaduran bidaiatzen dute kobrezko kableetan barna. Bi transmisio-bitartekoen arteko ezberdintasunik handienak irismena eta, batez ere, banda-zabalera dira. Telekomunikazio-enpresek banda-zabalera handiagoa behar izan zutenean, orduantxe sortu zen XX. mendeko 60ko hamarkadako asmakizun bat aplikatzeko aukera, hots, zuntz optikoa. Zehazki, Charles K. Kao ingeniariak elektronikoko doktoreak asmatu zuen zuntz optikoaren silizezko bertsioa Harlowko Standard laborategietan (2009an, Fisika Nobel saria eman zioten). Laser diodoarekin eta erdi-eroaleko foto-detektatzaileekin batera, horrek 100 Gb/s-ko konexioak egiteko aukera ematen du, elkarrengandik kilometro askotara dauden sare bateko bi punturen artean.



Charles K. Kao doktorea (Fisika Nobel saria 2009).



Zuntz optikoz osatuta dauden itsas azpiko loturak (2015) [11].

Horrela, 80ko hamarkadatik hona, zuntz optikoaren bidez egiten dira komunikazio-sareetako nodoen arteko banda zabaleko konexioak, eta oraindik ere ez dago argi zer muga dituen zuntz bakar batean eskuragarri dagoen bandaren zabalerak. Izan ere, laborategietako garapenetan, aspaldian gainditu dira Tb/s-en hamarrenak.

Planetako lurrazala osotara dago zuntz optikoaren bidez interkonektatua, ahaztu gabe itsas azpian hedatuak dauden lotura ugariak herrialdeetako kostaldeak lotzeko. Horrela, itsas azpiko loturen dentsitateak garapen ekonomikorik handieneko eremuak adierazten ditu.

Hamarkada honetan, gainera, ikusten ari gara zuntz optikoa gure etxeetaraino iristen ari dela. Hori gertatu da, bezeroak eskatzen duen bandaren zabalerak halako diru inbertsioa justifikatzen duelako. Azken buruan, kobrezko kablearen ordeztu zuntz optikoko kablea jartzen ari da (eta elektroien ordeztu, fotoiak).

3. Elektronikaren eta fotonikaren arteko bizikidetzak

Harri Aroa harririk ezak eraginda bukatu ez zen bezala [12], elektronikaren aroa ez da bukatuko elektroirik ezak eraginda, huraxe ordezkatzeko duen beste teknologia baten eraginez baizik. Hein batean behintzat, teknologia hori fotonika izaten hasi da.

Argi-igorleek eta argi-detektagailuek beren prezioak murriztu behar badituzte ere, fotonikak abantaila handia du elektronikaren aldean. Izan ere, kable metalikoak ez bezala, zuntz optikoa gai material merke batez egina dago. Material hori silizea da, hau da, leihoetako beirak fabrikatzeko erabiltzen den oinarritzko material berbera. Harea funtsean silizea baita; beraz, lehengai hori ez da estrategikoa eta ez dago merkatuen gorabeheren mende.

Gaur egun, telekomunikazio optikoek ia argiaren abiaduran interkonektatzen dituzte zentralak eta erabiltzaileak, eta sare horietan, «botila-lepoa» sarearen nodoetan dago. Izan ere, nodo horiek, osagai fotoniko batzuk badauzkate ere, nagusiki osagai elektronikoak dauzkate. Eta elektronikoak izanen dira, haien beraien garunak (mikroprozesadoreak) elektronikoak diren bitartean. Nahiz eta aurrerapausoak eman diren transistoreen baliokide fotonikoa lortzeko [13] –transistorea mikroprozesadoreen oinarritzko pieza da–, teknologiak oraindik ere asko du aurreratzeko guztiz mikroprozesadore optikoak garatzera iristeko.

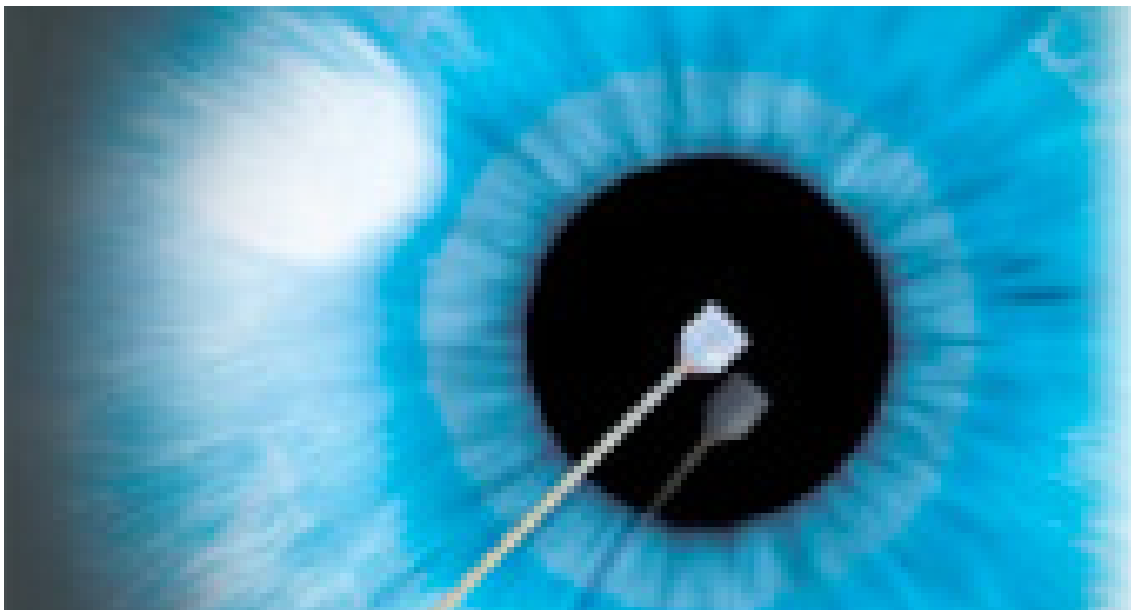
Bestalde, komunikazio optiko ez-gidatuaren eragozpena da zuzeneko ikusgaitasuna (edo islatua) behar dutela, kalitatezko komunikazioak ezarriko badira. Hori oso ongi ezagutzen dugu, geure etxeetan aginte infragorriak erabiltzen baititugu telebista-kanalak aldatzeko. Hortaz, zail samarra da komunikazio-terminal mugikorrek lan egi-tea eta maiztasun optikoak igortzea, eta beren osagaiak elektronikoak izateari uztea.

Beraz, telekomunikazioen fotonika (eta beste gauza batzuen) oraingoz kontrol elektroniko batek hertsatua dago. Telekomunikazioetako tresnetan, gainera, elektroak fotoi bihurtzeko prozesu bat falta da, eta alderantziz, zeinean tipikoki energiaren % 30etik gora galtzen baita, eta batez ere, bandaren zabalera asko ere bai. Horrenbestez, desiragarria da aplikazio askotan fotonikak elektronika ordezkatzea, baina, ziurrenera, bi teknologiak batera biziko dira, biak ere ordeztuko dituen gauza berriren bat agertu arte, hori posible baldin bada.

4. Fotonikaren beste aplikazio batzuk

Argiztapenean duen begi-bistako aplikazioaz gain, non aurretik telekomunikazioetan erabilitako gero eta osagai gehiago dauden (LED diodoa, zuntz optikoa...), fotonika gero eta gehiago erabiltzen da askotariko arloetan.

Aplikazio ezagun-ezagunak aipatze aldera, nabarmendu beharra dago zenbait potentziako fotonika esaten diotena; hain zuzen ere, arlo horren baitan sarturik dago bai eguzki-zelulen bidez sortzen den energia kontsumigarria (lehengaiak: silizioa, eguzkia, eta ziurrenera grafenoa etorkizunean, hau da, batere urriak ez diren materialak) bai belaunaldi berriko laserrak, zeinak MW askotako potentzia-pikoak



Zuntz optikoaren sentsore baten irudia.

igortzeko gauza baitira [14]; eta altzairuzko blokeak segundo gutxitan mozteko gauza ere badirenak.

Era berean, ez dugu ahaztu behar medikuntzan duen erabilera, ebakuntza delikatuak egiteko, hala nola laser bidezko kirurgia oftalmologikoa edota ehunen Raman azterketa.

Zuntz optikoa, halaber, arrakastaz ari da sentsore gisa erabiltzen. Izan ere, zuntz optikoa –beira– material inerte samarra da, eta interferentzia elektromagnetikoekiko immunea, baina hala ere, lor daiteke zuntz optikoak balio izatea oso parametro ezberdinak neurtzeko, hala nola temperatura, hezetasuna edota eremu elektrikoak. Horrela, zuntzezko sentsoreek aspaldian hartu dituzte merkatu-nitxoak, hala nola hegazkinetako giroskopoak, olio-hodietan eta petrolio-hobietan temperatura nahiz presioa neurtzea, eta zubien nahiz tunelen monitorizazioa. Eta zuntz optikoaren tamaina ikusita, medikuntzan hasi da erabiltzen aplikazio aurreratueterako.

5. Etorkizuna

Hasieran esan dut fotonikaren hastapenetan gaudela.

Gaur egun, elektroiak balira bezala erabiltzen ari gara fotoiak; lazki, hau da, altzairuzko xaflak mozteko edota gure larruazala erradiazio ultramorearen bidez bel-

tzarantzeko; eta pixka bat delikatuago, kornea mozteko edo larruazaleko orbanak ezabatzeko. Are gehiago, eguzki-zelulak ere erabili ditugu fotoiak harrapatzeko eta elektro bihurtzeko. Komunikazio optikoetan, eta arestian aipatu dugun «banda zabalaren eskari handiak» eraginda beste erremediorik izan ez denez, berrikitan igaro gara argi-iturria itzali eta piztetik –zeroak eta batak igortzeko–, informazioa argiaren fasean edo polarizazioan txertatzera.

Eta, hala ere, argiak dituen propietate batzuk duela oso gutxi hasi gara erabiltzen. Pare bat adibide ekarriko ditut hona:

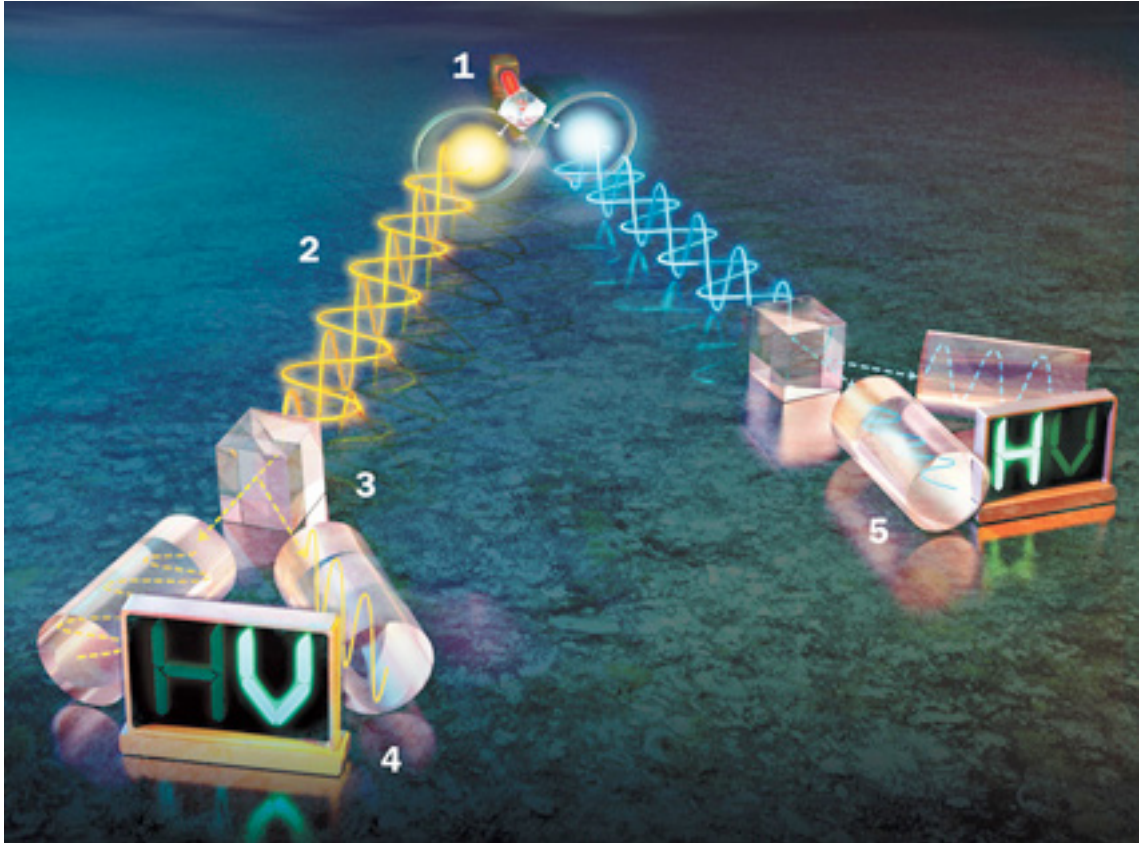
Dagoeneko proba-fasean dago lehen superkonputagailu optikoa [15], zeinak argiaren difrakzioa erabiltzen baitu, bai eta kristal likidozko pantaila berkonfiguragarriak ere. Espero da superkonputagailu horrek kontsumo elektrikoa % 95 murriztea, kalkulu-abiadura bereko egungo superordenagailuen aldean. Lehen urratsa da, zertarako eta ordenagailu elektronikoen ordeztu informazioa argi moduan prozesatzen duen belaunaldi berri bat erabiltzeko.

Hurrengo adibidea ere osotara da XXI. mendekoa. Informazioaren gizartearen eta interneten ondorioz berrikitan sortu den arazoetako bat izan da ziberkrimen deritzona agertu izana, bai eta zibersegurtasun kontzeptua ere. Izan ere, zibergaizkileek lehenago edo geroago ohiko enkriptatze-teknikak deszifratzen dituzte, eta horrek denok ezagutzen ditugun arazoak sortzen ditu. Gauzak horrela, 1997an Suitzan egindako esperimentu batek enkriptatze kuantikoa esaten zaiona abiarazi zuen. Esperimentu hartan, izan ere, bi fotoi biki bidali zituzten zuntz optikoaren bidez, kontrako norabideetan bidali ere, elkarren artean 18 km-ko distantziara zeuden detektagailuetarantz. Detektagailuetara iritsi baino lehen, eta behin fotoiek distantzia berbera ibili ondoren (9 km), fotoiek adarkatze optiko bat topatzen zuten, hau da, sorta zatitzaile bat.

Kontua izan zen elkarrengandik 18 km bereizita zeuden fotoiek, adarkatza iristean, beti erabaki berbera hartzen zutela aldi berean. Hortaz, fotoi bat A detektagailurantz baldin bazihoan, bestea ere bai. Eta B-ra joatea «egokitzen» zenean, besteak ere halaxe egiten zuen.

Azken batean, esperimentuak korapilatze kuantiko deritzona frogatu zuen, Albert Einsteinek berak 1935ean zalantzan jarritakoa. Elkarrengandik kilometrotan bereizita zeuden bi fotoik aldi berean hartutako erabaki berberak ez zuen frogatzen komunikatzeko posibilitatea argiaren abiaduretan. Dena dela, horretan oinarrituta, konpainia batzuek enkriptatze kuantikoak garatu zituzten [17]. Sistema horiek gauza dira, teorikoki deszifragarriak ez diren gakoak transmititzeko elkarrengandik 50 km-ra bereizita dauden sare optiko bateko bi puntura.

Fenomeno hori 143 km-ko distantziara egiaztatu da [18], hots, Palma eta Tenerife uharteen arteko tartea. Korapilatutako bi fotoik aldi berean eta elkarrengandik



Nicolas Gisinin esperimentuaren adierazpena: 1) Fotoi bikien iturria; 2) Zuntz optikoa; 3) Haz zatitzailea; 4 eta 5) Detektagailu optikoak [16].

kilometro askotara erabaki berbera hartzeak ez du esan nahi informazioa berehalakoan elkarri igortzen diotenik. Baina modu bat da, elkarrekin komunikatu nahi duten pertsonen bakarrik ezagutzen duten gako bat transmititzeko, eta are gehiago, gakoa igorri duen ekipoa ere ezagutzen ez duena. Itxuraz, *hardware* kodeketa hori deszifraezina da. Edo ez? [19].

6. Laburpena eta ondorioak

Nolanahi ere, argiaren propietate kuantikoak erabiltzen dituzten duela gutxiko bi adibide horien bidez itxi nahi dut ikasgai hau, orain arte esandakoa labur gogoratuta.

- Argia jada garrantzitsua da gure gizartean eta argiztapen hutserako baino aplikazio gehiago ditu. Zuntz optikoaren bidez konektaturik dagoen eraikin batean gaude orain; irudi-proiektagailuak daude, bai eta sentsores fotoniko

asko eta asko ere. Kontsumoko fotonika oso merkatu zabala da gaur egun: telebista-pantailak, laser-inprimagailuak, telekomunikazio-ekipo asko, eguzki-zelulak eta beste.

- Dena dela, argiaren propietate batzuk duela oso gutxi hasi dira erabiltzen, eta espero da fotonikak alternatiba asko ematea konputazioaren, sentsoreen eta telekomunikazio-sareen arloetan.

Erreferentziak

- [0] Genesisia.
- [1] NBEren Batzar Orokorra, «Kamelidoen nazioarteko urtea.. 2014ko azaroak 7», [<http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/C.2/69/L.41>].
- [2] [<http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/photronics>].
- [3] [http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/key_technologies/index_en.htm].
- [4] Gustavo Matías, «La importancia de los contenidos en la economía de la sociedad de la información», *Los problemas de las telecomunicaciones en España*, Madril, Círculo de Empresarios, 1996, 19-55 or.
- [5] EITO, «Indicador mercado de las TIC/PIB», [<http://www.eito.com/>].
- [6] José Antonio Martín Pereda, *Sistemas y redes ópticas de comunicaciones*, Madril, Pearson, 2004.
- [7] «El telégrafo óptico: el equivalente a Internet de hace siglos (2008)», [<http://www.microsiervos.com/archivo/tecnologia/telegrafo-optico.html>].
- [8] *De las señales de humo a la sociedad del conocimiento*, Madril, Telekomunikazio Ingeniarien Elkargo Ofiziala, 2006.
- [9] Nafarroako ondare materiagabearen artxiboa. Filologiako eta Hizkuntzaren Didaktikako Saila. Nafarroako Unibertsitate Publikoa, [<http://www.navarchivo.com/galerias/larraga/04%20Alrededores/249.JPG>].
- [10] [<http://www.descubrecoca.com/2012/03/la-torre-mathe.html>].
- [11] [<http://www.submarinecablemap.com/#/>] (2015).
- [12] Jeque Ahmed Yamani, [<http://www.eluniversal.com/opinion/111017/petroleo-para-300-anos>].
- [13] «Plasmonic» material could bring ultrafast all-optical communications (2015), [http://www.opli.net/opli_magazine/eo/2015/plasmonic-material-could-bring-ultrafast-all-optical-communications-july-news/].

- [14] J. Wallace, «Laser pump sources: Four 800 kW laser-diode arrays to pump high-pulse-rate HALPS petawatt laser» (2015), [<http://www.laserfocusworld.com/articles/print/volume-51/issue-05/world-news/laser-pump-sources-four-800-kw-laser-diode-arrays-to-pump-high-pulse-rate-hapls-petawatt-laser.html>].
- [15] [<http://optalysys.com/2015/>].
- [16] Laura Sanders, «Everyday Entanglement» (2010), [<https://www.sciencenews.org/article/everyday-entanglement>].
- [17] [http://www.magiqtech.com/Products_files/QBox%20Datasheet-2011.pdf].
- [18] ESAk Tenerifen egindako esperimentu batek teleportazio kuantikoaren mundu-errekorra hautsi du (2012), [http://www.esa.int/esl/ESA_in_your_country/Spain/Un_experimento_de_la_ESA_en_Tenerife_bate_el_record_mundial_de_teleportacion_cuantica].
- [19] Commercial Quantum Cryptography System Hacked (2010), [<http://www.technologyreview.com/view/418968/commercial-quantum-cryptography-system-hacked/>].